

УДК 622.831.31(075)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫСОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ КАМЕРЫ НА ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ

Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т., Казакбаева Г.О.
Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

В статье изложены результаты экспериментальных исследований напряжений вокруг горизонтальных камер на плоских оптически активных моделях при действии внешних суммарных вертикальных и горизонтальных сил поляризации-оптическим методом. В моделях рассмотрены изменения характера перераспределения напряжений в окрестности камер при изменении их высоты. На основе поляризационно-оптического метода на модели показаны данные напряженного состояния вокруг камеры для случаев действия вертикальных и горизонтальных сил при разных высотах камеры.

Ключевые слова: оптически активные модели, главные напряжения, эпюры, сжимающие и растягивающие напряжения, внешние вертикальные и горизонтальные силы.

ГОРИЗОНТАЛДЫК КАЗМАНЫН БИЙИКТИГИНИН ӨЗГӨРҮҮСҮНҮН АНЫН ТЕГЕРЕГИНДЕГИ ЧЫҢАЛУУНУН ТАРАЛУУ МҮНӨЗҮНӨ ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ

Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т., Казакбаева Г.О.

Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту

Макалада жалпак оптикалык активдүү нускадагы сырткы бирдиктүү, вертикалдык жана горизонталдык күчтөрдүн таасиринен пайда болгон горизонталдык казманын тегерегиндеги чыңалуулар поляризациялык оптикалык ыкманын негизинде изилденген. Нускаларда казманын тегерегиндеги анын бийиктигине жараша чыңалуулардын таралуу мүнөзүнүн өзгөрүүлөрү каралды. Нускада поляризациялык оптикалык ыкманын негизинде, тик жана горизонталдык күчтөрдүн таасиринен пайда болгон, казмалардын тегерегиндеги чыңалуу абалынын казманын ар кандай бийиктиги үчүн чоңдуктары көрсөтүлдү.

Баштакы сөздөр: оптикалык активдүү нускалар, негизги чыңалуулар, чыңалуунун эпюрасы, чоюлуу жана кысылуу чыңалуусу, сырткы тик жана горизонталдык күчтөр.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF CHANGE IN HEIGHT OF THE HORIZONTAL CAMERA ON THE CHARACTER OF STRESSES DISTRIBUTION

Aytmatov I.T., Tazhibaev K.T., Kazakbaeva G.O.

Institute of geomechanics and development of subsoil of the National academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

The results of experimental Researches of stresses around horizontal cameras on flat optically active models under the action of external total vertical and horizontal forces by the polarization-optical method are presented in the article. The changes of stresses redistribution character in the vicinity of the cameras with a change of their height are considered in models. The data of stress state around the cameras for the cases of the action of vertical and horizontal forces at different cameras heights based on the polarization-optical method are presented on model.

Key words: optically active models, principal stresses, diagrams, compressive and tensile stresses, external vertical and horizontal forces.

Введение. Известно, что при разработке полезных ископаемых подземным способом проведение выработок, камер в массиве горных пород приводят к значительному перераспределению естественного поля напряжений. Детальное изучение напряженного состояния массивов горных пород вокруг различных выемок, является актуальной задачей. Проведение таких исследований в натуральных условиях сложно [1-4]. Поэтому с целью выявления зон высоких концентраций напряжений в массиве горных пород вокруг камеры (особенно над кровлей) исследование проводилось в лабораторных условиях на основе поляризационно-оптического метода моделирования.

Постановка экспериментов.

В двух геометрически подобных плоских оптически активных моделях размерами: высотой – 21,5 см, шириной – 21,2 см, толщиной 1 см вырезаны горизонтально расположенные камеры. Размеры камеры в модели №1: ширина -10 см, высота -1,6 см. В модели №2 ширина камеры остается постоянным, увеличена высота до 3,2 см. В качестве модельных материалов, использовались оптически активные пластины, изготовленные на основе эпоксидной смолы [4]. Напряжения в моделях создавались при нагружении вертикальными и горизонтальными силами специальным

нагрузочным устройством. Ниже на рисунке 1а,б приведены схемы моделей. Стрелками указаны направления измерения напряжений.

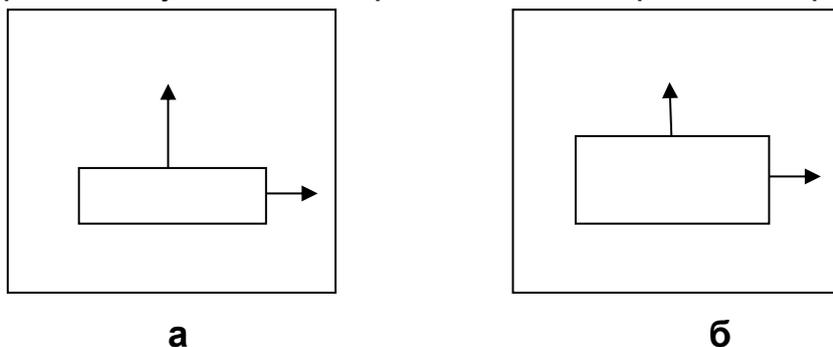


Рис. 1. Схемы плоских оптически активных моделей.

Экспериментальные результаты. На первом этапе исследований модели №1 и №2 (рис.1а,б) были нагружены внешней вертикальной нагрузкой, где $P_v=175\text{кГс}$. Созданная при этом картина полей напряжений в модели №1 показывает, что высокая концентрация напряжений приурочена в угловых частях камеры высотой 1,6 см. Число полос (n) в этих местах, достигает до 7,5, а в боковых частях камеры - до 6 полос. Над кровлей камеры $n=2,5$, в днище $n=4$ полосам (рис.2а).

В модели №2 увеличение высоты камеры до 3,2 см привели в отдельных местах к незначительным снижениям концентрации напряжений. Рост концентрации напряжений наблюдается в днище камеры, где $n=3,5$ полосам и в правой боковой части по горизонтальному сечению $n=7$ полосам (рис.2б).

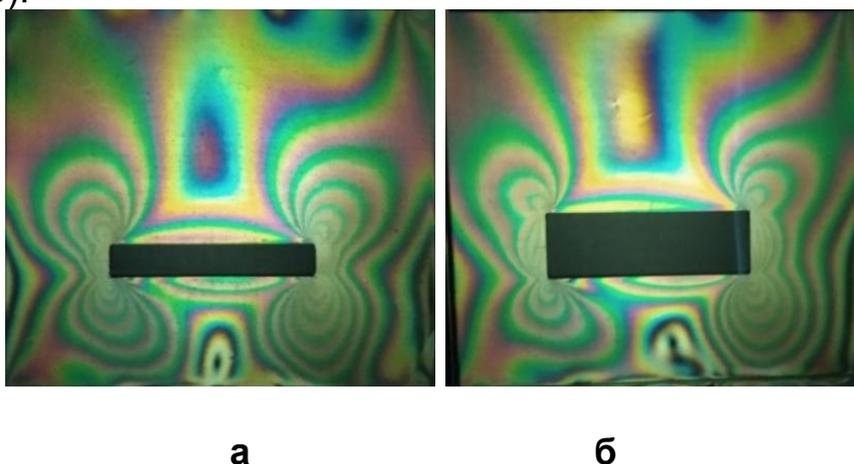


Рис. 2а,б. Картина полос напряжений в моделях вокруг камер: а – камера высотой 1,6 см; б – камера высотой 3,2 см.

В моделях вблизи камер были измерены величины главных напряжений по основным направлениям (показанные выше на рис. 1а,б стрелками). Из эпюр, главных нормальных напряжений представленных ниже на рис. 3а следует, что по вертикальному сечению над кровлей камеры высотой 1,6 см при действии внешней вертикальной нагрузки на модель

преобладают высокие растягивающие напряжения. Их величины в отдельных точках, достигают до $2-4 \text{ кг/см}^2$. А увеличение высоты камеры до 3,2 см при таком же нагружении модели №2, привели к снижению величин опасных растягивающих напряжений над кровлей камеры и к незначительному росту величин сжимающих напряжений (рис.3б). Как известно, разрушение горных пород происходит в первую очередь в пределах непосредственной кровли камер от растягивающих напряжений в результате изгиба. Также известно, что горные породы гораздо легче разрушаются при растяжении, чем при сжатии. Прочность горных пород при одноосном растяжении 8-10 раз меньше чем прочность при одноосном сжатии [5].

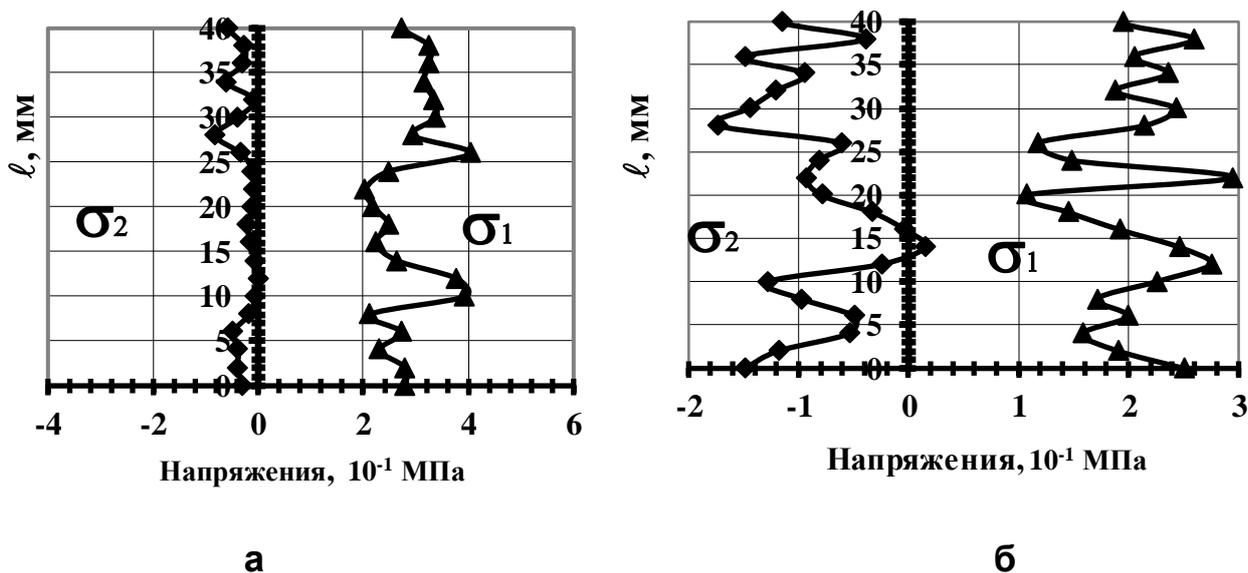


Рис.3а,б. Эпюры главных нормальных напряжений по вертикальному сечению над кровлей камер: **а**-шириной 1,6 см, **б** – шириной 3,2 см при действии внешней вертикальной нагрузки.

Эпюры максимальных касательных напряжений над кровлями камер показывают, что увеличение высоты камеры в отдельных точках, привели к снижению их величин (рис.4а,б). Необходимо отметить, что увеличение высоты камеры в два раза при действии внешней вертикальной нагрузки на модель привело к снижению величин растягивающих напряжений в кровле камеры и в отдельных точках, величин максимальных касательных напряжений. Также увеличение высоты камеры привело к более неравномерному распределению главных напряжений над кровлей камеры. Наблюдается существенное увеличение неоднородности и максимальных касательных напряжений в виде скачков их величин над кровлей камеры. Снижение растягивающих напряжений при увеличении высоты камеры благоприятно для устойчивости кровли камеры.

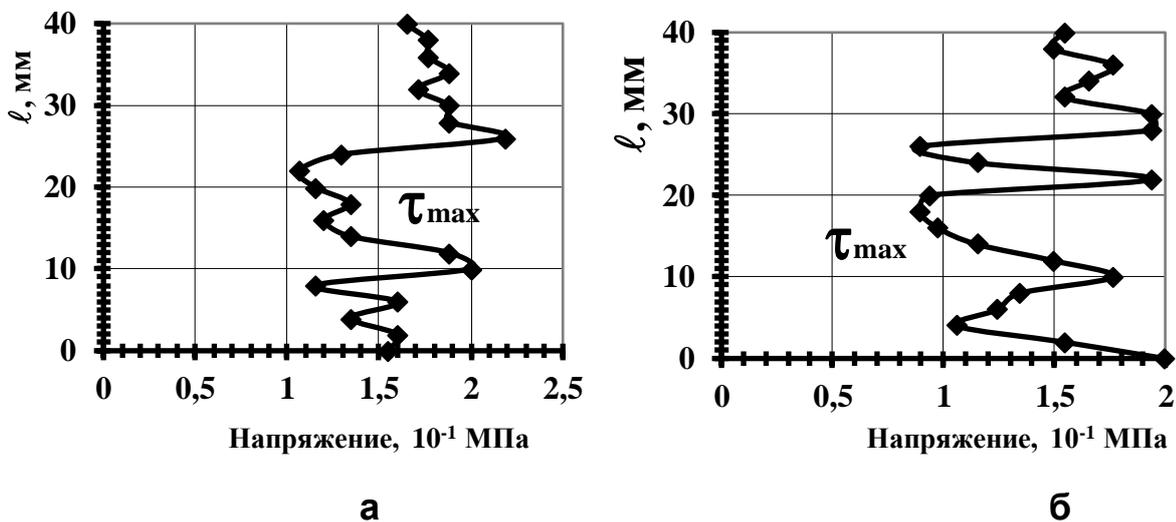


Рис. 4а,б. Эпюры максимальных касательных напряжений над камерами: а- шириной 1,6 см, б – шириной 3,2 см при действии вертикальной нагрузки.

По горизонтальному сечению вблизи боковой части камеры высотой 1,6 см при действии на модель вертикальной нагрузки образовались локальные участки с более высокими значениями как сжимающих, так и растягивающих нормальных напряжений (рис.5а). Увеличение высоты камеры до 3,2 см в модели №2 привели к значительному снижению величин растягивающих и к росту величин сжимающих напряжений. Характер распределения главных нормальных напряжений в модели № 2 имеет более равномерный вид (рис.5б).

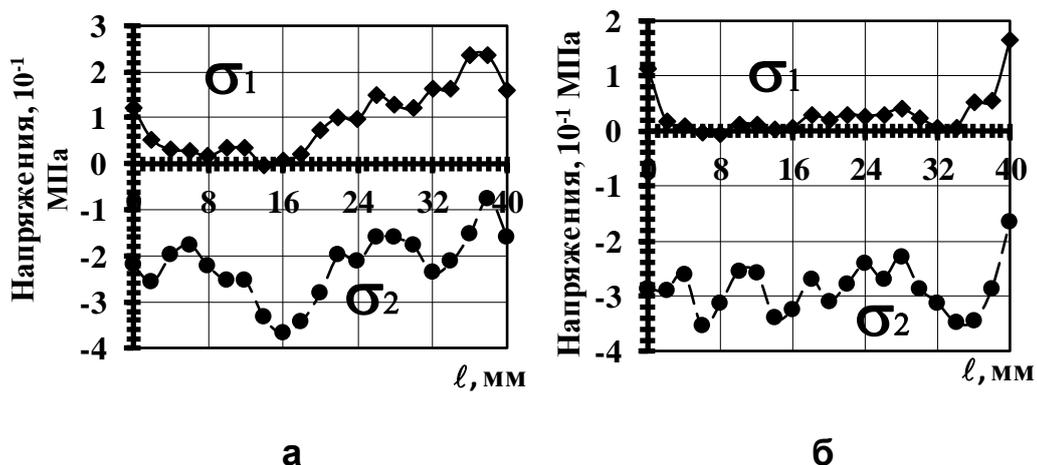


Рис.5а,б. Эпюры главных нормальных напряжений по горизонтальному сечению в боковых частях камер при действии внешней вертикальной нагрузки: а – в модели №1; б – в модели №2.

В модели №2 в боковой части камеры шириной 3,2 см по горизонтальному сечению в отдельных точках привели к снижению величин максимальных касательных напряжений, а также сравнительно равномерному их распределению (рис. 6б).

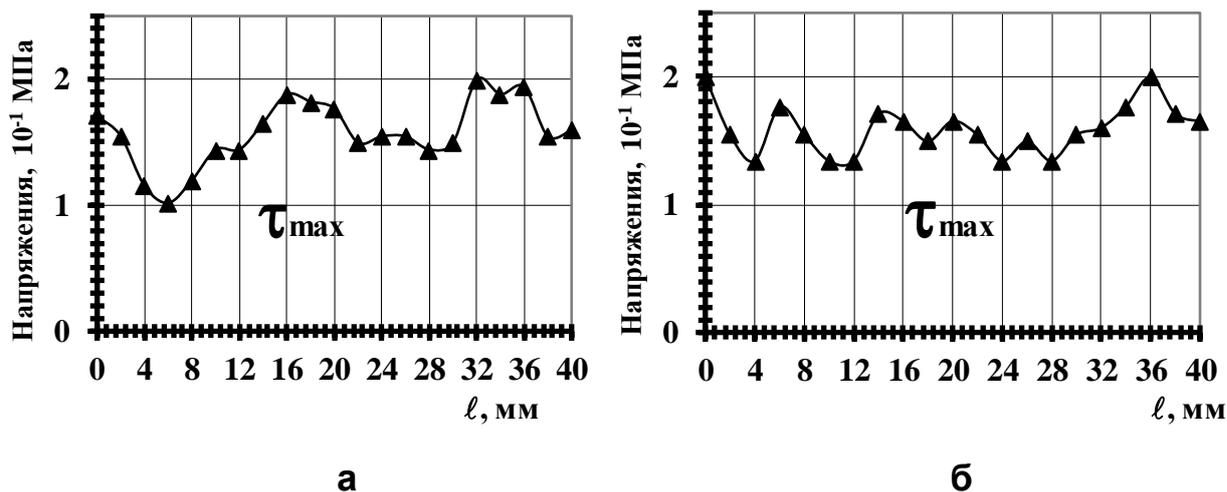


Рис. 6а,б. Эпюры максимальных касательных напряжений по горизонтальному сечению в боковых частях камер при действии внешней вертикальной нагрузки: **а** – в модели №1; **б** – в модели №2.

Таким образом, можно отметить, что увеличение высоты камеры в два раза (например, при выемке полезного ископаемого) при действии внешних вертикальных сил на модель №2, привело к снижению величин растягивающих напряжений как вблизи кровли, так и в боковой части камеры.

На втором этапе исследований модели №1 и №2 были нагружены внешними совместными вертикальными и горизонтальными нагрузками. Модель №1 была нагружена внешними нагрузками, где $P_v = 145 \text{ кг/см}^2$, а $P_r = 117 \text{ кг/см}^2$. Вертикальные и горизонтальные нагрузки на модель №2 следующие: $P_v = 162 \text{ кг/см}^2$, а $P_r = 120 \text{ кг/см}^2$. Из картины полос в модели №1 видно, что значительные концентрации напряжений, приурочены в угловых и боковых частях камеры высотой 1,6 см. В верхних угловых частях камеры, $n=5,5$, а в нижних $n=6$ полосам. В боковых частях камеры $n=6$ полосам. Над кровлей по вертикальному сечению камеры $n=1,5$, а в днище $n=2,5$ полосам (рис.7а). Картина полос в модели №2 показывает на рост концентрации напряжений в угловых частях камеры с высотой 3,2 см. В верхних углах $n=6,5$ полосам, а в нижних $n=7,5$ полосам. Над кровлей камеры по вертикальному сечению $n=1,5$ в днище $n=2,5$ полосам. В данном варианте сравнительно высокая концентрация напряжений наблюдается в нижних угловых частях и в правой боковой части камеры, где $n=8$ полосам (рис.7б). Из эпюр главных нормальных напряжений следует, что по вертикальному сечению над кровлей камеры высотой 1,6 см при действии на модель внешних совместных вертикальных и горизонтальных сил, преобладают высокие растягивающие напряжения σ_1 (рис.8а).

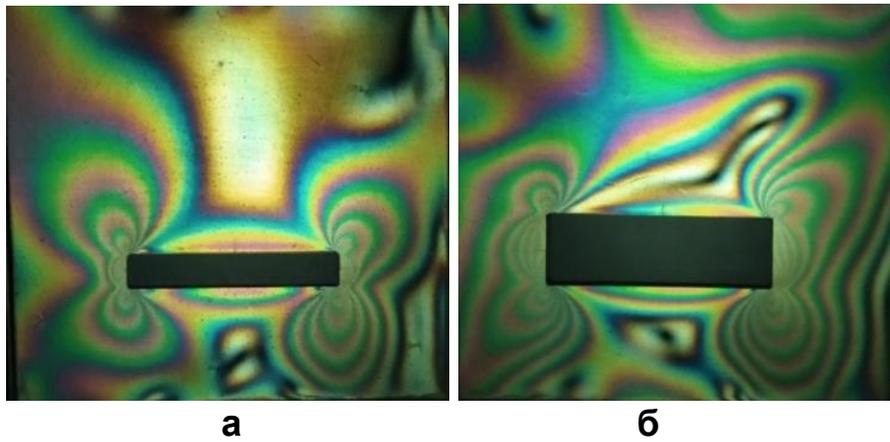


Рис.7а,б. Картины полос полей напряжений вокруг горизонтальных камер, созданные в моделях №1 и №2 под действием совместных внешних вертикальных и горизонтальных сил.

Увеличение высоты камеры до 3,2 см над кровлей по вертикальному сечению привели к значительному снижению величин растягивающих напряжений и к росту величин сжимающих напряжений σ_2 (рис. 8б). Рост сжимающих напряжений в кровле камеры с точки зрения устойчивости становится сдерживающим опасные растягивающие напряжения фактором. Увеличение высоты камеры до 3,2 см над кровлей привели к более неравномерному распределению главных нормальных напряжений σ_1 и σ_2 (рис. 8б).

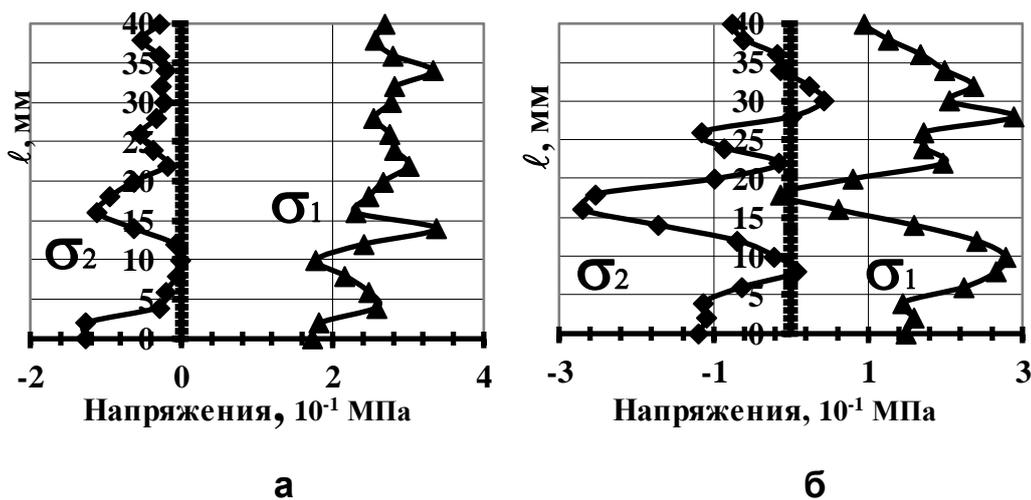


Рис.8а,б. Эпюры главных нормальных напряжений по вертикальному сечению над горизонтальными камерами: а- в модели №1, б – в модели №2 при действии внешних совместных вертикальных и горизонтальных нагрузок.

При увеличении высоты камеры до 3,2 см в удалении от контура кровли наблюдается снижение величин максимальных касательных напряжений. В модели №1 с высотой камеры 1,2 см наоборот, в удалении кровли наблюдается рост величин этих напряжений (9а,б).

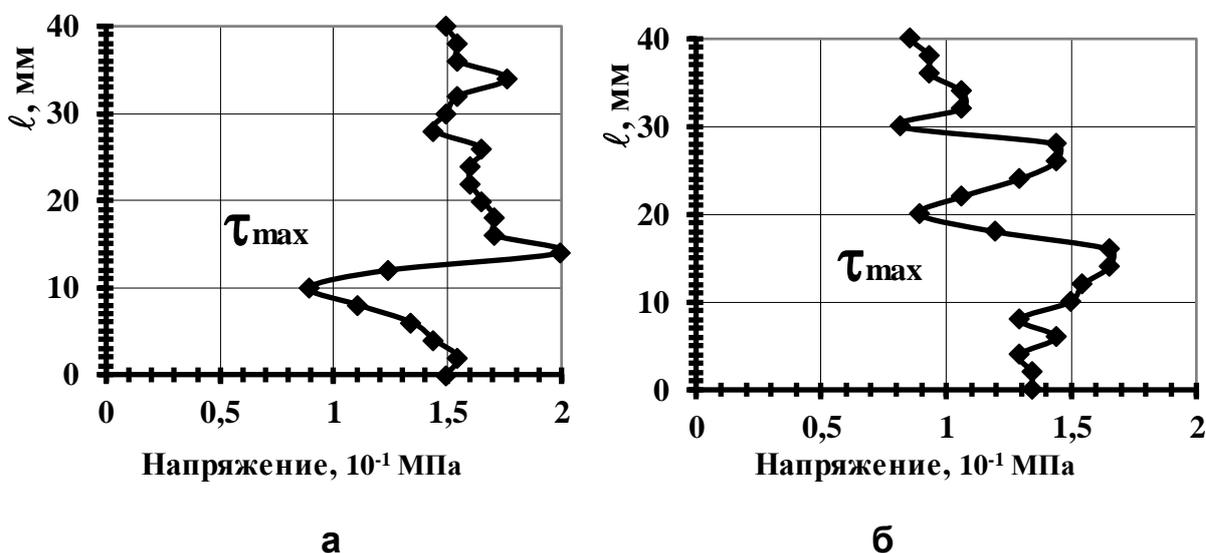


Рис.9а,б. Эпюры максимальных касательных напряжений по вертикальному сечению над горизонтальными камерами: а - в модели №1; б – в модели №2 при действии совместных вертикальных и горизонтальных нагрузок.

Экспериментальные результаты показали, что увеличение высоты камеры до 3,2 см и действие на модель совместных вертикальных и особенно горизонтальных сил по вертикальному сечению над кровлей камеры привели к значительному снижению величин как растягивающих, так и максимальных касательных напряжений. Также внесло значительную неоднородность в характер распределения главных напряжений (рис.8б-9б).

Из эпюр (рис.10а) видно, что под действием совместных внешних сил на модель №1 по горизонтальному сечению в боковой части камеры высотой 1,6 см образовались зоны концентрации растягивающих σ_1 (в удалении от боковой поверхности) и (вблизи боковой поверхности) сжимающих σ_2 напряжений. Увеличение высоты камеры до 3,2 см при совместном нагружении модели №2, привели в данном направлении к значительному снижению величин растягивающих напряжений σ_1 , и к росту величин сжимающих напряжений σ_2 (рис.10б).

Сравнение эпюр главных нормальных напряжений показали, что по горизонтальному сечению вблизи стенок камер с разными высотами под действием совместных внешних вертикальных и горизонтальных сил на модели, преобладают более высокие сжимающие напряжения.

По горизонтальному сечению в боковой части камеры шириной 3,2 см при совместном действии внешних сил на модель №2 вблизи боковой поверхности наблюдается снижение величин максимальных касательных напряжений. А в боковой части камеры высотой 1,6 см в основном в измеренных точках данные напряжения имеют более высокие величины (рис.11а).

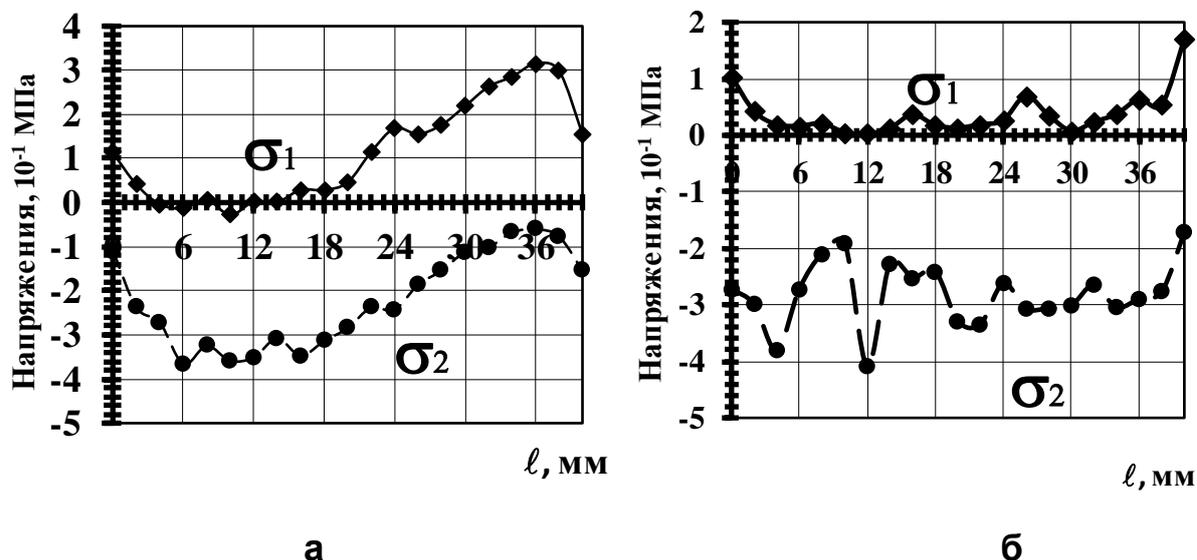


Рис.10а,б. Эпюры главных нормальных напряжений по горизонтальному сечению в боковых частях горизонтальных камер: **а**- в модели №1; **б** - в модели №2 при действии совместных вертикальных и горизонтальных нагрузок.

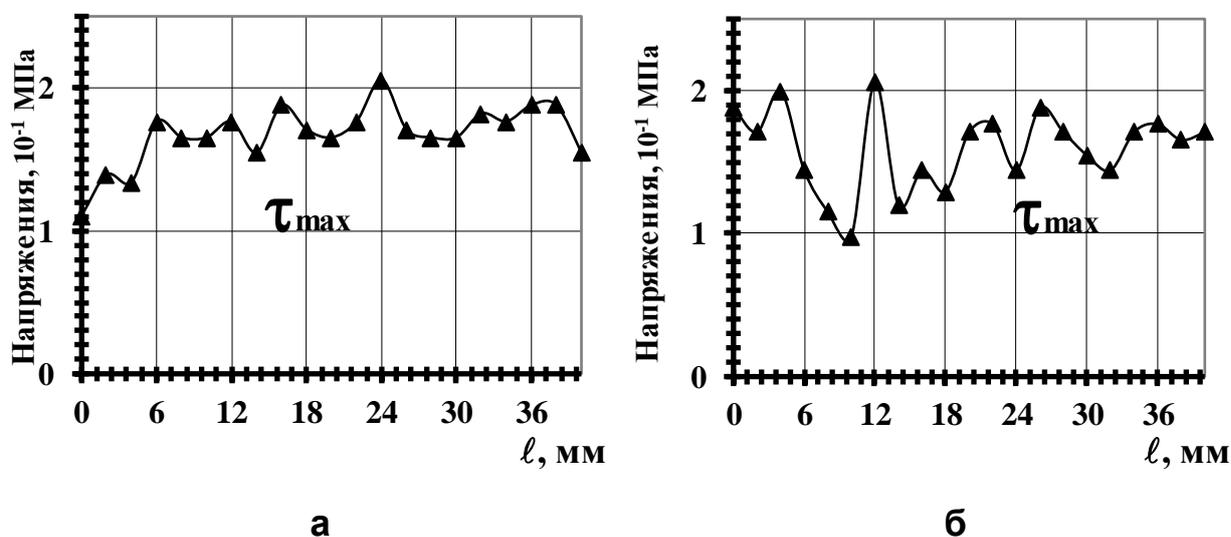


Рис.11а,б. Эпюры максимальных касательных напряжений по горизонтальному сечению в боковых частях горизонтальных камер: **а** - в модели №1; **б** – в модели №2 при действии совместных вертикальных и горизонтальных нагрузок.

Сравнение и анализ полученных поляризационно-оптическим методом экспериментальных данных в моделях вокруг камер с разными высотами при действии внешних сил, позволили получить представления о поле напряжений и об их характере распределения. Общие закономерности изменения характера распределения напряжений заключаются в их концентрации в одних участках и ослаблении в других. Заблаговременное выявление зон с повышенными концентрациями напряжений вблизи камер, позволит принять меры для повышения их

устойчивости и предотвратить ущерб от внезапных обрушений кровли камер.

Выводы

1. Выявлено, что по вертикальному сечению вблизи кровли камеры высотой 1,6 см при действии внешних вертикальных сил на модель преобладают высокие растягивающие напряжения.
2. Выявлено, что увеличение высоты камеры до 3,2 см в модели, в условиях действия вертикальной нагрузки, приводит к снижению величин растягивающих напряжений вблизи непосредственной кровле камеры в среднем в 1,5-2 раза по сравнению с камерой высотой 1,6 см.
3. Выявлен скачкообразный характер распределения главных напряжений по вертикальному сечению над кровлей при увеличении высоты камеры до 3,2 см, при действии на модель внешних вертикальных сил.
4. Выявлено, что по горизонтальному сечению вблизи боковых стенок камер с разными высотами при действии на модели внешних сил преобладают сжимающие напряжения, а увеличение высоты камеры до 3,2 см по этому сечению приводит к росту величин сжимающих напряжений в среднем 1,5 раза по сравнению с камерой высотой 1,6 см.
5. Выявлено, что характер распределения и величины главных напряжений по основным сечениям вблизи камер существенно зависят от их высоты и от действия на модели внешних, особенно горизонтальных сил.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений. - Фрунзе, Илим, 1987 г. - С.246.
2. Филатов Н.А, Беляков В.Д, Иевлев Г.А. Фотоупругость в горной-геомеханике. – Москва, Недра, 1975 г. – С.184.
3. Н.Ю. Швагер, Т.А. Комиссаренко, А.А. Комиссаренко, Ю.О. Швагер. Исследование напряженного состояния пород окружающей образованную полость. Книга горная наука. // Криворожский технический университет. 2012 г. С.154-159.
4. Казакбаева Г.О. Исследование оптическим методом некоторых факторов, влияющих на характер изменения напряжений вокруг камер. //Современные проблемы механики. Гидрогазодинамика, геомеханика, геотехнологии и информатика. Научно-технический журнал №41 (3), 2020 г. С. 342-348.
5. Тажибаев К.Т. Деформация и разрушение горных пород, “Илим”, Фрунзе.1986.-106с.